PIR-sensoren

Alle warmbloedige wezens stralen infrarode energie uit. Als u door een kamer loopt zal uw infrarode straling het stralingspatroon in de kamer verstoren. Dat kan door een PIR-sensor worden gedetecteerd. In dit artikel leest u hoe dat werkt.

Auteur: Jos Verstraten, Landgraaf, Nederland
Email: josverstraten@live.nl

Publicatiedatum: 28-03-2018

Het pyro-elektrisch effect

Warmte is energie

Ieder lichaam dat warmer is dan het absolute nulpunt van –273,15 °C straalt energie uit onder de vorm van voor de mens onzichtbare infrarode straling. Dit verschijnsel vormt de basis voor het samenstellen van ideale personenregistratie systemen. De hoeveelheid straling is afhankelijk van het temperatuurverschil en van de grootte van het voorwerp. Men heeft kunnen meten dat een mens in een ruimte die een temperatuur van 20 °C heeft een gemiddeld vermogen van ongeveer 100 W uitstraalt. De golflengte van deze straling ligt rond 10 µm. Dat is gunstig, want een gloeilamp van 100 W straalt uiteraard ook infrarode energie uit. Maar de golflengte van deze straling ligt een factor tien lager, dus rond 1 µm. Ook de infrarode straling van de zon ligt ver buiten het bereik van de menselijke straling. Op deze manier kunt u op een heel eenvoudige manier de infrarode straling die door een mens wordt uitgezonden detecteren. Het volstaat een detector te ontwikkelen die een maximale gevoeligheid heeft rond 10 µm.

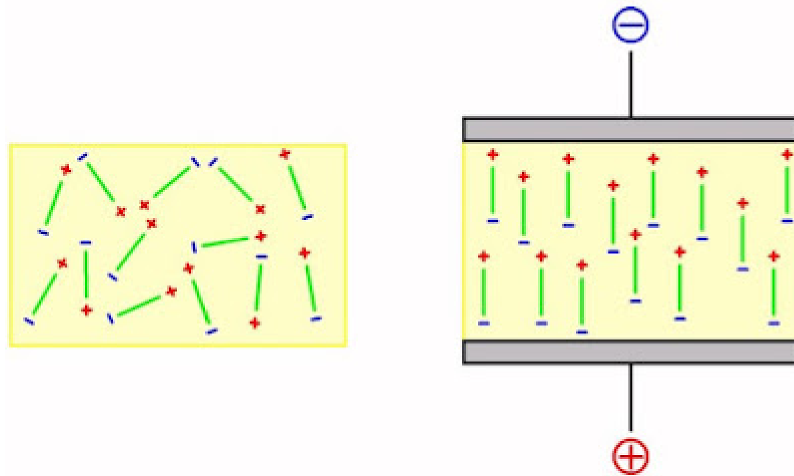
Het principe van pyro-elektrische detectoren

Het principe van de pyro-elektrische detectoren is dat de op de detector invallende infrarode straling de detector opwarmt. Deze opwarming heeft bepaalde ladingsverschillen in de detector tot gevolg, die weer omgezet kunnen worden in spanningsverschillen. Hoewel een mens dus gemiddeld 100 W infrarode energie uitzendt, zal deze energie zich heel snel in de ruimte verspreiden. Het gevolg is dat de temperatuurstijging van de detector in de meeste gevallen slechts 0,02 °C bedraagt. Toch zijn de ontwikkelde detectoren gevoelig genoeg om dit zeer geringe temperatuurverschil te kunnen detecteren.

Het pyro-elektrisch effect

De ontdekking van het pyro-elektrisch effect is een gevolg van de research die overal op de wereld plaats vond op het gebied van ceramische materialen. Men ontdekte dat als men sommige ceramische stoffen opwarmde tot boven een bepaalde temperatuur, het zogenoemde Curie-punt, en er nadien tijdens het afkoelen een elektrisch veld over aanbracht, deze stoffen nadien temperatuurgevoelige elektrische eigenschappen gingen vertonen. De oppervlaktelading van een plaatje, gemaakt uit een dergelijke ceramische stof, vertoont een afhankelijkheid van de temperatuur. Deze variërende lading kan door middel van elektroden, die over het plaatje worden aangebracht, afgetakt worden als spanning. Er wordt immers een kleine condensator gevormd, waarvan de waarde afhankelijk is van de dikte van het plaatje, de oppervlakte van de elektroden en de diëlektrische constante van het materiaal. Deze zeer kleine spanning kan door middel van gevoelige versterkers omgezet worden in een bruikbaar signaal.

Elektrische dipooltjes
Het materiaal dat pyro-elektrische eigenschappen vertoont kan voorgesteld worden door kleine elektrische dipooltjes, zoals getekend in onderstaande figuur. Deze dipooltjes kunt u vergelijken met de basismagneetjes, waaruit men veronderstelt dat een permanente magneet is samengesteld. Onder natuurlijke omstandigheden zijn deze dipooltjes willekeurig gericht, zodat statistisch kan worden aangenomen dat het totale effect over het gehele plaatje nul is (linker figuur). Als u echter het plaatje verwarmt tot boven het Curie-punt en een elektrisch veld aanlegt, gaan alle dipooltjes zich richten naar dat externe veld (rechter figuur). Ook na de afkoeling blijven de meeste dipooltjes in deze stand gefixeerd. Onder invloed van de temperatuur zullen echter een aantal dipooltjes weer uit dit stramien springen, waardoor een afwijkende lading over het plaatje ontstaat. Hoe hoger de temperatuurvariatie, hoe sterker dit verschijnsel en hoe hoger de afwijkende lading die over het plaatje zal ontstaan.



Het fysisch verschijnsel 'pyro-elektrisch effect' grafisch toegelicht. (© 2018 Jos Verstraten)

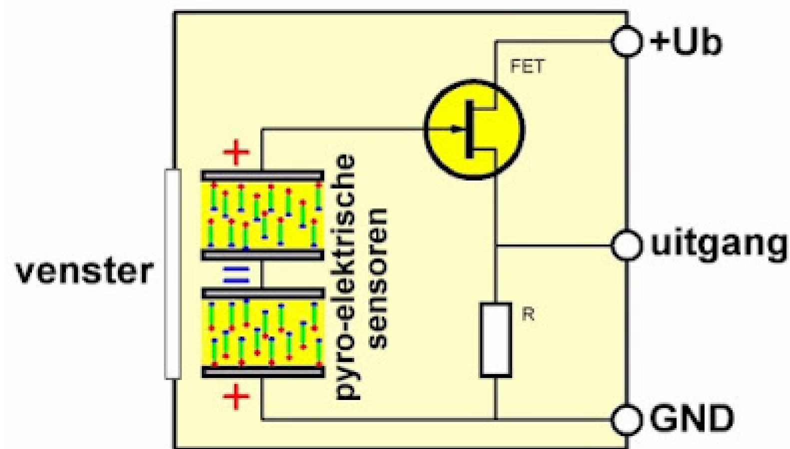
Pyro-elektrische materialen
Naast ceramische materialen heeft men ook kunststoffen ontwikkeld, die pyro-elektrische eigenschappen vertonen. Deze kunststoffen zijn gemakkelijker te verwerken dan de ceramische materialen en hebben tegenwoordig volledig te plaats van de ceramieken verdrongen. Men heeft diverse stoffen ontdekt die goede pyro-elektrische eigenschappen in het 10 μm gebied hebben. De voornaamste zijn:

- Triglycinsulfaat, afgekort tot TGS
- Lithiumtantalaat LiTa03
- Stoffen op basis van lood, titaan en zirconium, de zogenoemde PZT-stoffen
- Polyvinildenyfluoride, afgekort tot PVDF.

Het is voornamelijk deze laatste stof die tegenwoordig in pyro-elektrische detectoren wordt toegepast. Deze stof kan namelijk tot zeer dunne folies verwerkt worden, waarbij u moet denken aan diktes van ongeveer 10 μm.

Twee werken beter dan een
Het is niet zo dat dergelijke pyro-detectoren de aanwezigheid van een persoon kunnen detecteren. Dat is een gevolg van de extreem hoge gevoeligheid van dergelijke detectoren. Zou u slechts één detector toepassen, dan zou deze reageren op iedere honderdste graad wijziging in de omgevingstemperatuur en er zou van een betrouwbare detectie helemaal geen sprake zijn. Vandaar dat een pyro-elektrische sensor is samengesteld uit twee in anti-serie geschakelde pyro-detectoren, zie onderstaande figuur. Men zorgt ervoor dat de twee detectoren heel innig thermisch gekoppeld zijn, zodat men er zeker van is dat ze beiden op dezelfde omgevingstemperatuur staan. Op deze manier wordt de invloed van de variërende omgevingstemperatuur volledig uitgeschakeld. Het zal echter duidelijk zijn dat ook de straling van een persoon nu op beide detectoren inwerkt en geen resulterend signaal tot gevolg heeft. Er moet dus nog iets anders verzonnen worden, namelijk een speciale optiek voor de detector.
Omdat de detectoren een zeer hoge impedantie hebben, is het noodzakelijk gebruik te maken van een impedantie-transformator. In de meeste gevallen bestaat deze uit een FET-volger en

wordt de uitgangsspanning afgenomen van de source.

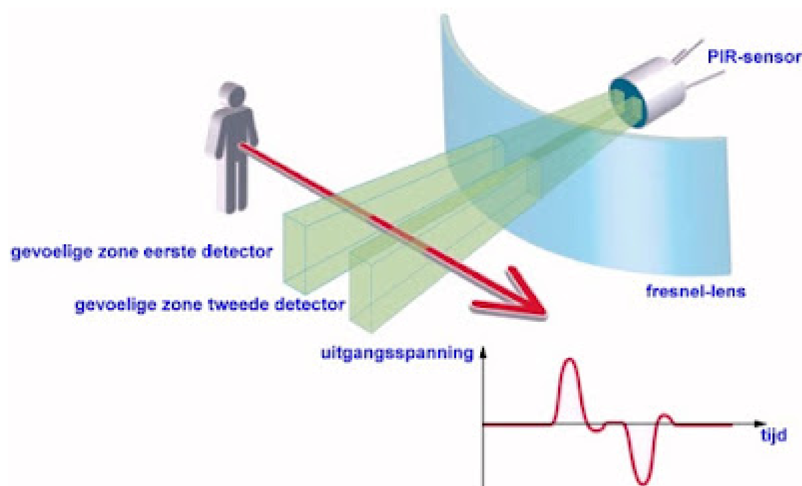


Het elektrische schema van een pyro-elektrische sensor. (© 2018 Jos Verstraten)

Van pyro-elektrische detector naar PIR-sensor
De combinatie van twee anti-serie geschakelde pyro-elektrische detectoren in één behuizing noemt men een PIR-sensor, letterwoord van 'Passive Infra Red'-sensor.

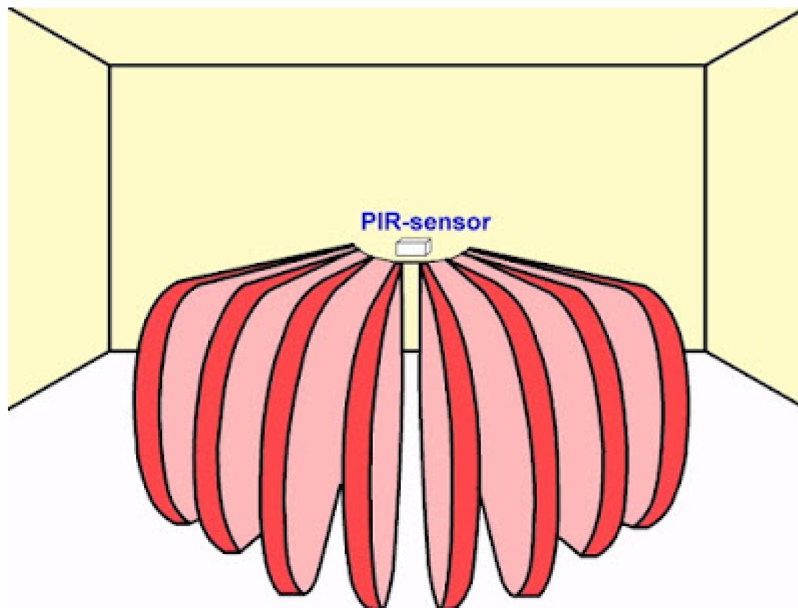
De optiek van de PIR-sensor

Gesegmenteerde optiek
Het de bedoeling dat een PIR-sensor alleen een signaal afgeeft als een warm iets zich door het 'blikveld' van de sensor verplaatst. Dat heeft men opgelost door voor de PIR-sensor een gesegmenteerde lens op te nemen, die ook bekend staat onder de naam 'fresnel-lens'. Soms werkt men met een gesegmenteerde parabool reflector. Voor sensoren die rondom gevoelig moeten zijn wordt een gesegmenteerde fisheye lens toegepast.
De fresnel-lens
De fresnel-lens zal de infrarode straling op een zeer speciale manier op de twee in anti-serie geschakelde pyro-elektrische detectoren focusseren. Hoe dat werkt is schematisch voorgesteld in onderstaande figuur. Als een persoon door de ruimte beweegt zal de fresnel-lens er voor zorgen dat de straling die deze persoon uitzendt achtereenvolgens op de ene of op de andere detector terecht komt. Het gevolg is dat er kleine temperatuurverschillen tussen deze detectoren ontstaan. Deze wekken kleine ladingsverschillen op, die dan weer door de ingebouwde elektronica in kleine spanningsverschillen worden omgezet. Als een persoon door de kamer beweegt zal de PIR-sensor dus een klein wisselspanningssignaal opwekken, zoals getekend in de onderste grafiek van de afbeelding. Het systeem is zo gevoelig dat zelfs de geringste beweging van een hoofd, hand of been wordt geregistreerd.



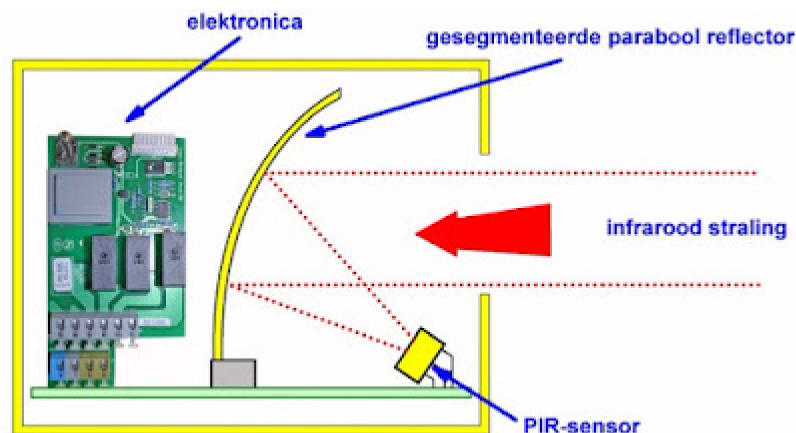
De werking van pyro-elektrische detectoren. (© www.elettronicanews.it)

Gevoeligheidslobben
Als gevolg van de eigenschappen van de fresnel-lens zal het duidelijk zijn dat de te bewaken ruimte wordt ingedeeld in een aantal onzichtbare 'lobben'. Staat een persoon in één dergelijke lob, dat zal de sensor een klein, eenmalig signaaltje opwekken. Beweegt de persoon echter van 'lob' naar 'lob', dan zal de sensor een duidelijk wisselende spanning afgeven, die door de achtergeschakelde elektronica versterkt kan worden. In onderstaande figuur zijn, voor de duidelijkheid, slechts acht lobben getekend. In de praktijk wordt de te bewaken ruimte echter ingedeeld in tientallen lobben, zodat het praktisch onmogelijk is zich in de ruimte te bewegen zonder minstens in twee naast elkaar gelegen 'lobben' straling uit te zenden.



Door de speciale gesegmenteerde optiek wordt de door de PIR-sensor bewaakte ruimte verdeeld in een groot aantal lobben. (© 2018 Jos Verstraten)

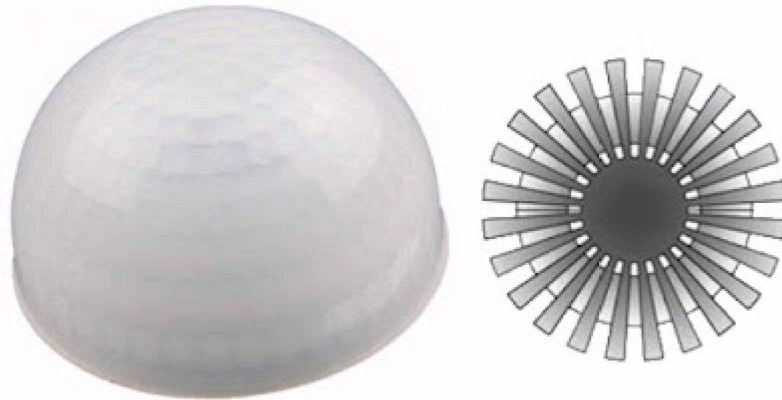
Gesegmenteerde parabool reflector
Een andere mogelijkheid om de straling afwisselend op een van de twee pyro-elektrische detectoren te laten vallen, is gebruik te maken van een zogenoemde gesegmenteerde parabool reflector. Dit principe is getekend in onderstaande figuur. De reflector is achter de PIR-sensor opgenomen. De infrarode straling van een bewegend voorwerp, die via een venster binnenkomt, wordt door de segmenten van de reflector afwisselend op een van beide pyro-detectoren gefocusseerd. Op deze manier ontstaan de temperatuurverschillen tussen beide detectoren en zal de PIR-sensor een kleine wisselspanning genereren.



Het principe van de gesegmenteerde parabool reflector. (© 2018 Jos Verstraten)

Gesegmenteerde fisheye lens
PIR-sensoren met een fresnel-lens of een gesegmenteerde parabool reflector zijn gevoelig in één richting onder bepaalde horizontale en verticale hoeken. Er zijn ook PIR-sensoren op de markt die men rondom gevoelig heeft gemaakt. Men zet dan over de PIR-sensor een speciale

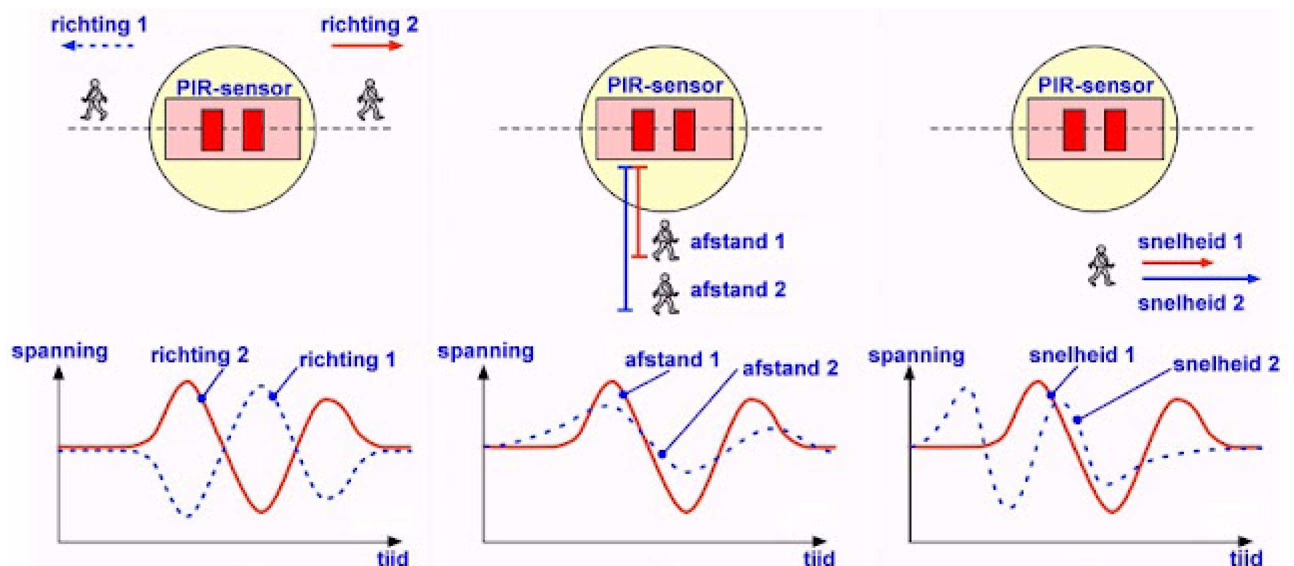
gesegmenteerde fisheye lens, waardoor de PIR-sensor in alle richtingen 'ziet'. In onderstaande figuur is de typische vorm van zo'n fisheye-lens voorgesteld. Dergelijke lenzen worden aangeboden onder de soortnaam 'dome fresnel-lens'. Naast de foto is een voorstelling gegeven van de ruimtelijke gevoelige lobben die door het toepassen van zo'n lens ontstaan.



Een typische dome fresnel-lens en het lobben-patroon. (© 3Dlens.com)

De detectie mogelijkheden van een PIR-sensor plus optiek
Door het toevoegen van een fresnel-lens aan een PIR-sensor krijgt u een systeem in handen waarmee u niet alleen grofweg beweging kunt detecteren maar ook de richting van de beweging, de snelheid van de beweging en de afstand tussen de sensor en het bewegend voorwerp. In onderstaande figuur zijn de drie verschillende detectie-mogelijkheden voorgesteld.

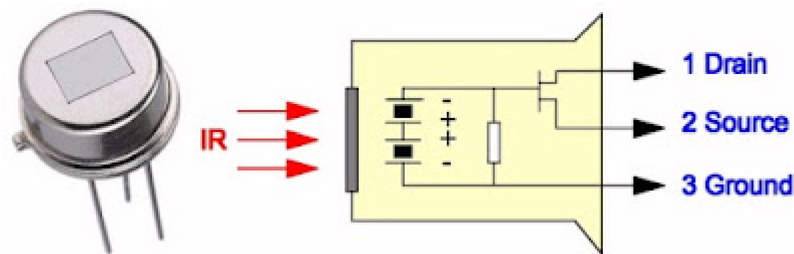
- **(A) Bewegingsrichting:**
  U kunt aan de vorm van de uitgangspuls van een PIR-sensor afleiden of een warm voorwerp zich van links naar rechts of van rechts naar links voor de sensor verplaatst. In het ene geval levert de sensor eerst een positieve puls en nadien een negatieve puls, in het andere geval is dat omgekeerd.
- **(B) Bewegingsafstand:**
  Hoe dichter bij de sensor de beweging plaats vindt, hoe groter de pulsen zijn die de sensor genereert.
- **(C) Bewegingssnelheid:**
  Als het voorwerp zich snel langs de sensor voortbeweegt, dan zal de afstand tussen de positieve en de negatieve puls kleiner zijn dan wanneer het voorwerp zich traag beweegt.



De drie detectie mogelijkheden van een PIR-sensor mét fresnel-lens. (© www.mdpi.com)

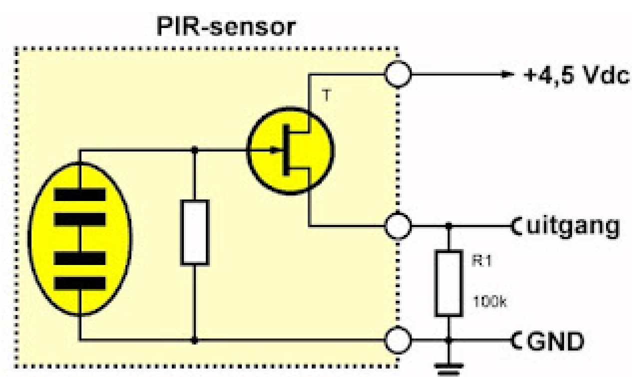
PIR-sensoren in de praktijk

De praktische sensor
In onderstaande figuur is het intern schema getekend van een praktisch verkrijgbare PIR-sensor. Zowel de capaciteit van een pyro-elektrisch element als de uitgangsspanning zijn erg klein en u moet op een zo kort mogelijke afstand van de twee ingebouwde sensoren een elektronische schakeling opnemen die de twee elementen met een zo hoog mogelijke impedantie en zo capaciteitsarm als maar mogelijk is afsluit. Wat ligt er dan meer voor de hand dan deze eerste trap te integreren in de behuizing van de sensor? Vrijwel alle sensoren die u kunt kopen zijn dan ook voorzien van een interne FET, al dan niet met source-weerstand. Over de twee pyro-elektrische elementen is meestal nog een onderdeel met niet-lineaire karakteristieken geschakeld, dat de gate van de FET moet beschermen tegen te grote negatieve spanningen.
De meeste PIR-sensoren zijn ondergebracht in een metalen TO-behuizing. De twee pyro-elementen van de sensor liggen ongeveer 2 mm uit elkaar en zijn toegankelijk via een venstertje in de bovenzijde van de behuizing dat IR-straling van de gewenste golflengte zo goed mogelijk doorlaat.



De behuizing en het intern schema van de meeste commercieel aangeboden PIR-sensoren. (© 2018 Jos Verstraten)

Een basisschakeling
Dank zij de ingebouwde FET-trap kunt u PIR-sensoren zonder problemen opnemen in elektronische schakelingen. In onderstaande figuur wordt de interne FET opgenomen in een externe source-volger schakeling. Een schakeling die te vergelijken is met de bekende emitter-volger en die dus een versterking van iets minder dan 1 levert en een lage uitgangsimpedantie.

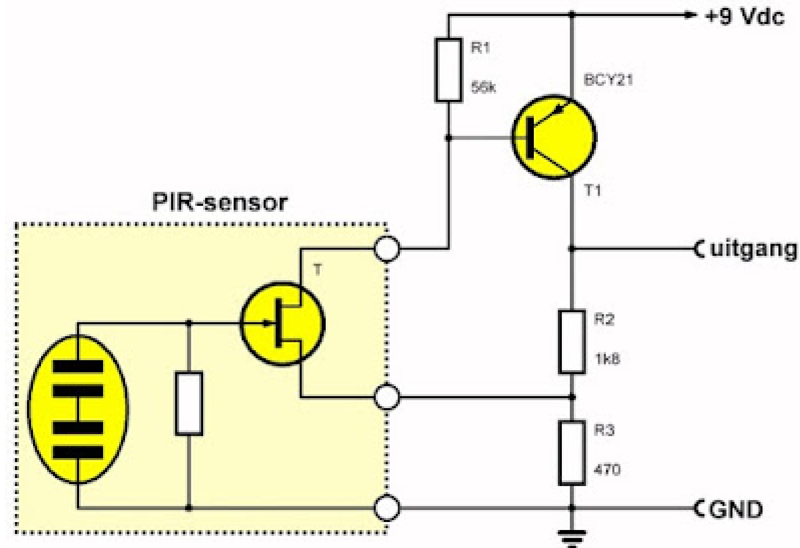


De eenvoudigste schakeling voor het afsluiten van een pyro-elektrische sensor. (© 2018 Jos Verstraten)

Een tweetraps versterker
In de schakeling van onderstaande figuur wordt de FET opgenomen in een tweetraps versterker met stroomtegenkoppeling. Ook deze schakeling wordt gekenmerkt door een lage uitgangsimpedantie, maar levert een signaalversterking op waarvan de waarde afhankelijk is van de verhouding tussen de weerstanden in de collector van de uitgangstransistor. Deze schakeling is zeer bruikbaar als u zeer gevoelige schakelingen moet ontwerpen die zonder meer noodzakelijk zijn in inbraakbeveiligingen met grote reikwijdte. De praktische specificaties van de voorgestelde schakeling zijn:

- Spanningsversterking van 4,8
- Uitgangsimpedantie van 200 Ω
- Een ruissignaal op de uitgang van gemiddeld 250 nV/Hz^{-1}.

Een ander belangrijk argument ten gunste van deze schakeling is dat er nogal wat spreiding zit op de specificaties van de interne FET. De stroomtegenkoppeling in deze schakeling compenseert de instelspanningen in enige mate, wat zeer belangrijk is bij seriefabricage. Toch kan, ondanks de tegenkoppeling, het gelijkspanningsniveau op de uitgang van de versterker van schakeling tot schakeling variëren tussen 1 V en 8 V!



Een teruggekoppelde versterker met grote signaalwinst. (© 2018 Jos Verstraten)

Schakeling met speciaal IC

Omdat PIR-sensoren tegenwoordig overal worden gebruikt, hebben diverse IC-fabrikanten de moeite genomen een of meerdere speciale IC's te ontwerpen met maar één doel, het verwerken van de uitgangsspanning van een PIR-sensor. Een van de goedkoopste IC's is zonder meer de Chinese BISS0001, dat u voor minder dan een halve euro in dat verre land kunt bestellen. In onderstaande figuur hebben wij het standaardschema rond dit IC voorgesteld. De uitgang van de PIR-sensor gaat naar pen 14 van de BISS0001. Dat is de ingang van de eerste versterker in dit IC. Tussen de pennen 14/15/16 en 13/12 treft u twee operationele versterkers aan, die het zeer kleine signaal van de PIR-sensor voldoende versterken. De potentiometer Rv regelt de gevoeligheid en dus het bereik van de schakeling. De uitgang van de tweede op-amp (pen 12) gaat intern naar een comparator, die de versterkte spanning van de PIR-sensor vergelijkt met twee interne drempels. De uitgang van deze comparator gaat intern naar een poort, die gestuurd wordt door de spanning op pen 9. De spanning op deze ingang bepaalt of de schakeling actief of passief moet zijn, de drempel ligt bij ongeveer 0,2 V. Deze optie is bedoeld voor het aansluiten van een LDR. Als deze wordt belicht besluit de schakeling dat het dag is en dat de PIR-signalen niet tot een actieve uitgangspuls mogen leiden. Pen 1 wordt ofwel met de massa ofwel met de voeding verbonden en de gekozen optie legt het trigger-gedrag van de schakeling vast. De uitgang van het IC op pen 2 gaat via een beveiligingsweerstand naar de uitgang. Op deze uitgang verschijnt een mooie 'H' als de PIR-sensor beweging detecteert.

Een voorbeeldschakeling rond de BISS0001. (© www.proyectoelectronico.com)

Specificaties van PIR-sensoren

Inleiding
Naast de voor de hand liggende gegevens zoals het aantal elementen waaruit de sensor bestaat, hun afmetingen en de spectrale gevoeligheid, worden PIR-sensoren gekenmerkt door een aantal specificaties waarvan de definitie niet onmiddellijk duidelijk is en waarbij enige toelichting op zijn plaats is:

- Gevoeligheid (Responsivity)
- Noise equivalent power (NEP)
- Optical window

Gevoeligheid (Responsivity)
De gevoeligheid van een PIR-sensor wordt gedefinieerd als de verhouding tussen de effectieve spanning op de uitgang tot het effectieve stralingsvermogen dat op de sensor invalt. De eenheid van deze grootheid is bijgevolg volt per watt, afgekort V/W. Er zijn twee grootheden die deze specificatie beïnvloeden en wel de golflengte van de straling die gebruikt wordt voor het opmeten van deze eigenschap en de frequentie waarmee de invallende straling gemoduleerd wordt. In de meeste tests wordt dit gedaan door tussen de stralingsbron en de sensor een draaiende schijf aan te brengen, voorzien van een of meerdere openingen. Vandaar dat deze specificatie steeds wordt gevolgd door enige getallen tussen haakjes, waarbij de eerste de golflengte in µm aangeeft en de tweede de frequentie. De gevoeligheid zou dus bijvoorbeeld kunnen worden gegeven als 150 V/W (10,10), hetgeen wil zeggen dat de grootheid is gemeten met straling van 10 µm golflengte en pulserend invallend op de sensor met een frequentie van 10 Hz. Ook belangrijk bij de vermelding van deze specificatie is hoe de sensor tijdens de meting werd afgesloten. In de meeste gevallen wordt gemeten met een source-volger geschakeld achter de pyro-elementen, zodat de spanningsversterking van de elektronica niet meespeelt bij het beoordelen van de gevoeligheid.

Noise equivalent power (NEP)
De NEP is een maat voor de minimale hoeveelheid straling die kan worden gedetecteerd. Het is de effectieve waarde van de hoeveelheid straling die op de sensor moet invallen om een effectief uitgangssignaal op te wekken dat even groot is als de effectieve waarde van de eigen ruis van de detector. Deze grootheid wordt uitgedrukt in watt per vierkantswortel hertz, dus W/Hz^{-1}. Ook hierbij worden enige relevante gegevens tussen haakjes vermeld en wel de golflengte, de frequentie en de bandbreedte van de ruismeting in Hz.

Optisch venster
Ondanks het feit dat PIR-sensoren zo ontworpen worden dat hun maximale gevoeligheid rond 10 µm ligt, zullen hun pyro-detectoren toch ook gevoelig zijn voor straling van andere golflengtes. Om deze gevoeligheid te minimaliseren worden de meeste detectoren geleverd in een behuizing die voorzien is van een optisch filter. Dit filter vormt een hoogdoorlaat filter, dat alleen straling met een golflengte van meer dan 5 µm doorlaat. In onderstaande figuur is als voorbeeld de doorlaatkarakteristiek getekend van het filter, waarmee de PIR-sensor RPY97 van Philips is uitgerust.



De golflengte karakteristiek van het optische filter van de RPY97 van Philips.
(© 2018 Jos Verstraten)

Modules met PIR-sensoren

Goedkope kant-en-klare modules
Tenzij u PIR-sensoren in speciale toepassingen wilt gebruiken heeft het tegenwoordig, eerlijk geschreven, weinig zin om zélf schakelingen rond PIR-sensoren te ontwerpen. De markt wordt overspoeld met spotgoedkope, volledig bestukte Chinese modules rond een PIR-sensor. Deze modules gaan wel allemaal uit van één toepassing: het in een zo groot mogelijk gebied detecteren van bewegende personen. Vandaar dat deze modules voorzien zijn van een gesegmenteerde fisheye lens op de PIR-sensor. In onderstaande figuur zijn een paar van deze Chinese modules verzameld. Sommige modules worden voor minder dan twee euro aangeboden.



Een verzameling modules met PIR-sensor, die u via internet spotgoedkoop kunt bestellen.
(© Banggood)